

BEST AVAILABLE COPY

RO/CH PCT/CH 03 / 00492
15. Aug. 2003 (15.08.03)



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

REC'D 26 AUG 2003

Bescheinigung

Certificate

Attestation

PCT

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02405715.0

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02405715.0
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 22.08.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

ABB RESEARCH LTD.
Affolternstrasse 52
8050 Zürich
SUISSE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Thermisches Gasdurchfluss-Messgerät mit Gasqualitätsindikator

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G01F/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

BESCHREIBUNG

Thermisches Gasdurchfluss-Messgerät mit
Gasqualitätsindikator

TECHNISCHES GEBIET

- 5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Messung von Gasströmungen mit thermischen Sensoren. Sie geht aus von einem Verfahren und einem Sensor zur Massenflussmessung gemäss Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche.

10

STAND DER TECHNIK

- In der WO 01/96819 A1 wird ein Gaszähler offenbart, der als Energiemessgerät geeicht ist. Die Eichung beruht darauf, dass Sensorsignalwerte in Abhängigkeit der Durchflussrate eines Eichgases oder Kalibriergases bestimmt und
15 in Form einer Sensoreichkurve oder Sensorkalibrierkurve im Gaszähler gespeichert werden. Die Sensoreichkurve beziehungsweise die Sensorsignalwerte werden mit einem Signal-Umrechnungsfaktor und einem Brennwertfaktor für das Basis-Gasgemisch multipliziert, so dass das erhaltene Produkt
20 einen Gasverbrauch in einer Leistungseinheit und nach Integration in einer Energieeinheit angibt. Mit einem weiteren Korrekturfaktor kann wenigstens näherungsweise der tatsächliche Heizwert eines bezogenen Gasgemisches in der Energieeichung berücksichtigt werden. Als tatsächlicher
25 Heizwert kann ein gemessener, über eine bestimmte Zeitspanne gemittelter Heizwert verwendet werden. Nachteilig ist, dass eine externe Einheit zur Bestimmung des Heizwerts erforderlich ist.

- In der EP 0 373 965 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Gas- oder Energieverbrauchs aus
30 einem korrigierten Massenflusssignal offenbart. Bei der

Signalkorrektur werden die Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Dichte des Gases berücksichtigt. Das korrigierte Massenflusssignal und damit der Gas- oder Energieverbrauch sind unabhängig von der Gasart und insbesondere identisch für Luft, Argon, Helium, Kohlendioxid, Methan und Propan. Nachteilig ist, dass ein solcherart normiertes Massenflusssignal insensitiv für den Heizwert eines Gases oder Gasgemisches ist, da brennbare Gase mit unterschiedlichem Heizwert (z. B. Methan oder Propan) gleiche Massenflusssignale und sogar gleiche Signale wie unbrennbare Gase (z. B. Helium, Argon, Kohlendioxid oder Luft) ergeben.

In dem U. S. Pat. No. 5'311'447 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zur verbrennungslosen Bestimmung des spezifischen Heizwerts von Erdgas offenbart. Hierzu werden mit empirischen Formeln spezifischer Heizwert, Dichte oder Anteil inerter Gase aus gemessenen Werten von Viskosität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, optischer Absorption usw. bestimmt. Nachteilig ist der grosse Mess- und Rechenaufwand bei der quantitativen Messung mehrerer unabhängiger gasartabhängiger Grössen und bei deren Zusammenführung mit einer Volumenflussmessung in einem Gaszähler zur Bestimmung einer konsumierten Energiemenge.

In der WO 01/18500 wird eine verbesserte Massenflussmessung mit zwei thermischen CMOS-Anemometern offenbart. Am ruhenden Gas werden bei konstanter Heizleistung eine Wärmeleitfähigkeit und bei gepulster Heizleistung eine Wärmekapazität gemessen, das Gas identifiziert und aus dessen spezifischen Heizwert zusammen mit der Massenflussmessung der totale Brennwert des Gases bestimmt. Nachteilig ist wiederum der relativ grosse Aufwand bei der Bestimmung der konsumierten Energiemenge aus separaten Werten von Massenfluss und spezifischem Heizwert. Zudem muss der spezifische Heizwert für eine hinreichend genaue Bestimmung des Energiebezugs kontinuierlich und mit grosser Genauigkeit gemessen werden.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung einer Durchflussrate anzugeben, wobei eine verbesserte Eichbarkeit erreicht wird. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

In einem ersten Aspekt besteht die Erfindung in einem Verfahren zum Messen eines Gasverbrauchs mittels eines Gaszählers, insbesondere zum Messen eines verrechenbaren Gasenergiebezugs im privaten, öffentlichen oder industriellen Bereich, wobei vom Gaszähler mit Hilfe eines thermischen Durchflusssensors zu einer Durchflussrate im wesentlichen proportionale Sensorsignalwerte bestimmt werden und die Sensorsignalwerte aufgrund einer Kalibration des Gaszählers als Energiemessgerät als Energiewerte ausgegeben werden, wobei vom Gaszähler eine Gasart insoweit bestimmt wird, dass ein nicht brennbares Gasgemisch von einem brennbaren Gasgemisch unterschieden wird und der Gaszähler bei Vorhandensein eines nicht brennbaren Gasgemisches mit einer Kalibration in Massen- oder Normvolumeneinheiten und bei Vorhandensein eines brennbaren Gasgemisches mit einer Kalibration in Energieeinheiten betrieben wird. Der Betrieb als Energiemessgerät umfasst auch Kalibration und Betrieb als Leistungsmessgerät mit Ausgabe von Leistungswerten. Das erfindungsgemässe Verfahren und Gasmeter bringt diverse Vorteile. Die Zuverlässigkeit der Energiemessung wird deutlich erhöht, da mit geringem Aufwand beim durchströmenden Gas streng unterschieden wird zwischen hochwertigem Nutzgas und nicht brennbarem Gas. Insbesondere wird automatisch zwischen einem nicht brennbaren Eichgas, typischerweise Stickstoff oder Luft, und einem Basis-Gasgemisch oder zu messenden Gas unterschieden und eine automatische Umschaltung von einer Massen- oder Volumenskala auf eine Energieskala durchgeführt. Die gleiche Unterscheidung wird auch bei einer Ausserbetriebnahme, Inbetriebnahme, bei Manipulation am Gaszähler oder aus anderem

Grund wirksam, so dass Verfälschungen der Energiemessung durch Kontakt mit Luft o. ä. ausgeschlossen sind. Der Betrieb mit einer Kalibration in Massen-, Volumen- oder Energieeinheiten beinhaltet insbesondere eine Signalausgabe und/oder Signalanzeige in diesen Einheiten.

In einem ersten Ausführungsbeispiel wird mit Hilfe eines thermischen Gasqualitätssensors mindestens ein gasartabhängiger Parameter des Gasgemisches, insbesondere ein Wärmekoeffizient wie z. B. eine Wärmeleitfähigkeit λ und/oder Wärmekapazität c oder eine Viskosität η , bestimmt und durch Vergleich mit bekannten Werten des Parameters für bekannte Gase oder Gasgemische das Gasgemisch als brennbar oder nicht brennbar identifiziert. Es genügt also eine ungefähre Kenntnis der Art, oder Zusammensetzung des Gases, damit eine digitale Entscheidung brennbar/unbrennbar getroffen und die entsprechende Kalibrierung aktiviert werden kann.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Anspruch 3 hat den Vorteil einer besonders einfachen Sensorkonfiguration und Signalauswertung. Eine Summenbildung der Temperatursignale bewirkt, dass das Signal zur Bestimmung eines gasartspezifischen Parameters oder Wärmekoeffizienten unabhängig von der Flussrichtung und von möglichen Asymmetrien der Anordnung der Temperatursensoren ist. Es wird auch ein grösseres Signal erzielt als bei Verwendung des stromaufwärts gelegenen Temperatursensors alleine.

Die Ausführungsbeispiele gemäss Anspruch 4 und 5 haben den Vorteil, dass eine einfache Rechenvorschrift genügt, um das anwesende Gas oder Gasgemisch mit hoher Zuverlässigkeit als brennbar und damit für einen verrechenbaren Energiebezug geeignet oder als nicht brennbar und damit als nicht verrechenbaren Massenfluss zu kategorisieren.

Die Ausführungsbeispiele gemäss Anspruch 6 haben den Vorteil, dass der Strombedarf des Gaszählers ohne Verlust an Messgenauigkeit wirkungsvoll gesenkt werden kann.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Anspruch 7 hat den Vorteil, dass der gesamte Gasenergieverbrauch oder Energiebezug auch dann korrekt bestimmt werden kann, wenn Umschaltungen zwischen der Kalibration in Energieeinheiten und anderen Durchflusseinheiten wie Masse oder Volumen durchgeführt wurden.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Anspruch 8 hat den Vorteil, dass die Durchflussmessung in Massen- oder Normvolumeneinheiten wahlweise ununterbrochen fortgeführt wird, z. B. um einen Gesamtvolumenfluss zu bestimmen, oder nur bei Fluss unbrennbarer Gase aufintegriert wird, z. B. um bei geschlossenem Gaskreislauf eine komplementäre Kontrollgrösse für den Bezug brennbarer Gase zu generieren, oder nach jeder Umschaltung der Kalibration neu initialisiert wird, um Unterbrüche beim Energiebezug zu dokumentieren.

Ausführungsbeispiele gemäss Anspruch 9 haben insbesondere den Vorteil, dass Manipulationsversuche am Gaszähler einfach erkennbar sind.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Anspruch 10 hat den Vorteil, dass eine automatische Heizwertnachführung auch ohne irgendeine externe oder interne Bestimmung des aktuellen spezifischen Heizwerts des Gases oder Gasgemisches durchgeführt wird.

In einem zweiten Aspekt besteht die Erfindung in einem Gaszähler mit einem thermischen Massenflusssensor zum Ermitteln eines Gasenergiebezugs gemäss dem zuvor beschriebenen Verfahren. Der Gaszähler umfasst einen thermischen Durchflusssensor, ist als Energiemessgerät in Energieeinheiten und zusätzlich als Massenflussmeter in Massen- oder Normvolumeneinheiten kalibriert, weist einen Gasqualitätssensor auf, der ein Diskriminationssignal, insbesondere einen gasartabhängigen Parameter oder Wärmekoeffizienten, zur Unterscheidung eines brennbaren Gasgemisches von einem nicht brennbaren Gasgemisch erzeugt, und ist aufgrund des Diskriminationssignals zwischen einem Betrieb als Energiemessgerät oder als Massenflussmeter umschaltbar. Der Gaszähler

ist also für Eichzwecke, bei Lagerung oder bei Ausserbetriebnahme als Massenflussmeter oder, mit zusätzlicher Dichtemessung, als Volumenflussmeter kalibriert und für Mess- oder Verrechnungszwecke als Energiemeter. Im Betrieb
5 findet keine Verrechnung statt, wenn Luft detektiert wird. Stattdessen kann eine Durchflussmessung in Masse oder Volumen durchgeführt werden.

Die Ausführungsbeispiele gemäss Ansprüchen 12-15 ermöglichen einen besonders einfachen Aufbau und Betrieb des Gaszählers. Insbesondere sind Manipulationsversuche am Gaszähler im Betrieb erkennbar, wenn eine wiederkehrende Kontaktnahme mit Luft detektiert wird.
10

Weitere Ausführungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus abhängigen Ansprüchen sowie aus der
15 nun folgenden Beschreibung und den Figuren.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

Es zeigen:

- Fig. 1 im Querschnitt ein durchströmtes Rohr mit einem thermischen Durchflusssensor, der Bestandteil eines Gaszählers mit erfindungsgemäss dualer Kalibrierung als Energie- und Mengenzähler ist;
20
Fig. 2 Temperatursummensignale zur Bestimmung gaspezifischer Wärmeübergangskoeffizienten;
Fig. 3 eine Kalibrationskurve für den Übergang zwischen Eichgas und Basis-Gasgemisch (Nutzgas); und
25
Fig. 4 eine Tabelle mit Gasparametern für Erdgas.

In den Figuren sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

30 Fig. 1 zeigt einen Gaszähler 1 umfassend einen thermischen Durchfluss- oder Massenflusssensor 1a, 1b, 7, der ein in einem Strömungskanal oder Rohr 2 angeordnetes Sensor-

element 1a, eine Membran 1b und eine Mess- und Auswerteeinheit 7 umfasst. Im Rohr 2 strömt ein Gas 3 mit einem Strömungs- oder Geschwindigkeitsprofil 4. Das Sensorelement 1a ist einer zu messenden Strömungsgeschwindigkeit v ausgesetzt. Der Durchflusssensor 1 umfasst ein Heizelement 6, stromaufwärts einen ersten Temperatursensor 5a und stromabwärts einen zweiten Temperatursensor 5b. Aus Temperatursignalen T_1 , T_2 der Temperatursensoren 5a, 5b kann bekanntermassen ein Massenfluss- oder Normvolumenflusssignal S_M bestimmt werden. Die prinzipielle Funktionsweise beruht darauf, dass eine vom Heizelement 6 erzeugte Temperaturverteilung durch die Strömung 4 asymmetrisch wird und ein Temperaturunterschied $T_1 - T_2$ an den Temperatursensoren 5a, 5b als Mass für die Strömungsgeschwindigkeit v oder den Massenfluss dm/dT verwendet wird. In guter Näherung gilt Massenflusssignal S_M proportional zu Temperaturdifferenz $T_1 - T_2$. Im vorliegenden Fall werden zudem durch die Messmittel 7 aus den Massenflusssignalen S_M oder allgemein Sensorsignalen S des Durchflusssensors 1a aufgrund einer Kalibration des Gaszählers 1 als Energiemessgerät Energiewertsignale S_E bestimmt und ausgegeben. Die Kalibration als Energiemessgerät ist in der WO 01/96819 A1 offenbart, deren Inhalt hiermit in vollem Umfang durch Bezugnahme in die vorliegende Offenbarung aufgenommen wird. Ebenso seien die darin zitierten drei Artikel zum CMOS-Anemometer von J. Robadey sowie F. Mayer et al. durch Bezugnahme hier aufgenommen. Das dort beschriebene CMOS-Anemometer ist besonders geeignet als Sensorelement 1a des Durchflusssensors.

Erfindungsgemäss wird nun vom Gaszähler 1 eine Gasart insoweit bestimmt, dass ein nicht brennbares Gasgemisch 3 von einem brennbaren Gasgemisch 3 unterschieden wird und der Gaszähler 1 bei Vorhandensein eines nicht brennbaren Gasgemisches 3 mit einer Kalibration in Massen- oder Normvolumeneinheiten, z. B. l/min, und bei Vorhandensein eines brennbaren Gasgemisches 3 mit einer Kalibration in Energie- oder Leistungseinheiten, z. B. kWh, betrieben wird.

Für die Funktionsfähigkeit des Gaszählers 1 als Energie- und Massenflussmeter kann statt des Durchflusssensors 1a mit zwei Temperatursensoren 5a, 5b und insbesondere statt des CMOS-Anemometers 1a auch allgemein ein thermischer Durchflusssensor verwendet werden, bei welchem das Gas 3 über ein Sensorelement geführt wird, welches ein Heizmittel zur Temperaturänderung und ein Sensormittel zur Bestimmung seiner Temperatur aufweist, wobei die flussabhängige Temperaturänderung wiederum ein Mass für den Massenfluss ist. Alternativ kann der thermische Durchflusssensor 1a auch mit nur einem stromabwärts angeordneten Temperatursensor 5a betrieben werden. Generell kann der Massenfluss dm/dt in Massen- oder Normvolumeneinheiten, z. B. in kg/min, angegeben werden oder mit Hilfe der Dichte ρ aus einem Volumenfluss dV/dT bestimmt werden gemäss $dm/dt = \rho \cdot dV/dT$. Im Gaszähler 1 bedeutet eine Signalausgabe eine Signalanzeige und/oder Signalübertragung an eine Ables- oder zentrale Auswerteeinheit (nicht dargestellt).

Gemäss der WO 01/96819 A1 wird mit einem Eichgas 3, typischerweise Stickstoff N_2 oder Luft, ein Sensorsignal S gemessen, das im wesentlichen proportional zur Normvolumen-Durchflussrate $d(V_{N_2,n})/dt$ des Eichgases 3 ist. Durch Inversion von $S(d(V_{N_2,n})/dt)$ wird eine Sensoreichkurve $F(S)$ (Durchflussrate in Abhängigkeit des Sensorsignals S), vormals mit $F_n(S(d(V_{N_2,n})/dt)$ bezeichnet, bestimmt und in der Auswerteeinheit 7 des Gaszählers 1 abgespeichert. Im Betrieb wird dann das Sensorsignal S mit Hilfe der Sensoreichkurve $F(S)$ auf ein (unkorrigiertes) Massenflusssignal S_m kalibriert, welches proportional zu $F(S)$ ist oder einfach $S_m = F(S)$ ist. Die Kalibration der Durchflussrate kann also durch eine Sensoreichkurve $F(S)$ für das Eichgas unter Normbedingungen ausgedrückt werden. Das Massenflussraten-signal S_m hängt noch von der Gassorte ab. Daher werden Abweichungen des Massenflussratensignals S_m von einem exakten Idealwert für ein Basis-Gasgemisch, typischerweise Erdgas oder allgemein ein Kohlenwasserstoffgemisch CH_4 , durch einen Signal-Umrechnungsfaktor oder Sensorsignal-

Korrekturfaktor f_{N_2-CH} korrigiert (Fig. 3). Somit gilt $S_M = S_m \cdot f_{N_2-CH}$ mit S_M = korrigiertes Massenflussratensignal. Schliesslich wird ein Energiewertsignal S_E durch Multiplikation mit einem Heizwert H_{CH} (kalorimetrischer Wert pro Einheit der Durchflussgrösse, d. h. pro Standardvolumen oder pro Masse) des Basis-Gasgemisches und Integration bestimmt: $S_E = \int S_M \cdot H_{CH} \cdot dt = f_{N_2-CH} \cdot H_{CH} \cdot \int F(S) \cdot dt$.

Ausgehend von dieser Energiekalibration für das Basis-Gasgemisch CH ist es nun jedoch nicht mehr notwendig, am Gasgemisch eine Messung des aktuellen Heizwerts des Gasgemisches durchzuführen. Gemäss der WO 01/96819 A1 erfolgt nämlich im thermischen Durchflusssensor 1a, insbesondere im CMOS-Anemometer-Durchflusssensor 1a, eine inhärente automatische Heizwertnachführung bei Abweichungen des aktuellen Gasgemisches 3 vom Basis-Gasgemisch CH. Es genügt also, eine ungefähre Kenntnis über Art und/oder Zusammensetzung des Gases 3 zu erlangen und eine digitale Entscheidung herbeizuführen, ob ein brennbares oder verrechenbares Gas 3 bezogen wird oder aber nur ein Durchfluss eines nicht brennbaren oder zumindest nicht verrechenbaren Gasbezugs gemessen werden soll, wobei im ersten Fall ohne Heizwertmessung eine relativ zuverlässige, auf den aktuellen Heizwert bezogene Energiemessung erfolgt.

Gemäss der WO 01/96819 A1 oder der unveröffentlichten EP-Anmeldung Nr. 01 810 546.0, hiermit in vollem Umfang durch Bezugnahme aufgenommen, können für die genannten Grössen S , $F(S)$, f_{N_2-CH} und H_{CH} und daraus ableitbare Grössen auch geeignete Zeitmittelwerte verwendet werden.

Bevorzugt wird mit Hilfe eines thermischen Gasqualitäts-sensors 1a mindestens ein gasartabhängiger Parameter λ , c , α (Diffusivität), η (Viskosität) des Gasgemisches 3, insbesondere ein Wärmekoeffizient λ , c , α wie z. B. eine Wärmeleitfähigkeit λ und/oder eine Wärmekapazität c , bestimmt und durch Vergleich mit bekannten Werten des Parameters λ , c , α , η für bekannte Gase oder Gasgemische das Gasgemisch 3 als brennbar oder nicht brennbar identifiziert.

Im folgenden wird eine detailliertere Analyse zur Messung der Wärmeleitfähigkeit mit dem thermischen Durchflusssensor 1a gegeben. Das zu messende Gas 3 kann als weitgehend inkompressibel angenommen werden, da relative Dichteänderungen $\Delta\rho/\rho \approx 1/2(v/c_0)^2$ mit v = Flussgeschwindigkeit und c_0 = Schallgeschwindigkeit für typische Werte $v \approx 3$ m/s und $c_0 \approx 300$ m/s im Bereich von 10^{-4} liegen und somit vernachlässigbar sind. Für inkompressible Gase 3, d. h. $v \ll c_0$, und unter Vernachlässigung viskoser Dissipation kann der Wärmetransport inklusive Konvektion aus der stationären Wärmeleitungsgleichung durch Hinzufügen eines konvektiven Terms hergeleitet werden. Für einen Strömungskanal 2 in x-Richtung ohne Wärmequelle im Gas 3 lautet die Wärmeleitungsgleichung mit erzwungener Konvektion

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = v_x \cdot c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (G1)$$

15

mit $T = T(x, y, z)$ das stationäre Temperaturfeld im Gas 3, λ = Wärmeleitfähigkeit, v_x = Flussgeschwindigkeit in x-Richtung, c_p = Wärmekapazität und ρ = Dichte des Gases 3. Für vernachlässigbare Konvektion $v_x \approx 0$ kann die Wärmeleitfähigkeit λ bestimmt werden, indem die stationäre Diffusionsgleichung

20

$$\lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (G2)$$

integriert wird und die korrekten Randbedingungen für die Integrationskonstanten (Wärmestrom $j \neq 0$, keine Wärmequelle im Gas 3) eingesetzt werden. Für nicht vernachlässigbare Konvektion $v_x > 0$ kann aus Gleichung (G1) bei bekanntem v_x die inverse thermische Diffusivität $\alpha^{-1} = c_p \rho / \lambda$ bestimmt werden.

25

Gleichung (G1) wurde mit einer finiten Elemente Berechnung für den Durchflusssensor 1a gemäss Fig. 1 in CMOS-Ausführung für typische Gasbestandteile von Erdgas (Propan C_3H_8 , Äthan C_2H_6 , Kohlendioxid CO_2 , Methan CH_4 , Stickstoff N_2 und Helium He) unter Verwendung von deren bekannten Wärme-

30

koeffizienten λ , c_p , α gelöst. In Fig. 2 ist die resultierende Temperatursumme $T_1 + T_2$ für diese Erdgaskomponenten als Funktion der Flussgeschwindigkeit v_x aufgetragen. Die Temperatursumme $T_1 + T_2$ für kleine v_x (im ungefähren Bereich 0...20 ml/min, insbesondere 0...5 ml/min) sind deutlich unterscheidbar, da die zugrundeliegenden Wärmeleitfähigkeiten λ (s. Fig. 4) hinreichend unterschiedliche Werte haben. Es genügt also, am herkömmlichen thermischen Durchflusssensor 1a einfach ein Summensignal der Temperatursensoren 5a, 5b als Mass für eine Gasart und insbesondere als Diskriminationssignal zur Unterscheidung zwischen einem brennbaren und unbrennbaren oder nicht verrechenbaren Gas 3 zu verwenden. Auch aus dem Temperatursignal des ersten Temperatursensors 5a alleine - und sogar aus dem weniger variierenden Temperatursignal des zweiten Temperatursensors 5b alleine - kann ein gasartabhängiger Wärmekoeffizient λ , c , α bestimmt werden. Insbesondere kann aufgrund des Wärmetransports in Flussrichtung immer bestimmt werden, welcher Temperatursensor 5a, 5b der erste, d. h. stromaufwärts gelegene und welcher der zweite, d. h. stromabwärts gelegene ist. Auch für grössere Flussgeschwindigkeiten $v_x \gg 0$ sind die Temperaturkurven $T_1 + T_2$ oder T_1 alleine (nicht dargestellt) gasartabhängig und unterscheidbar, da die zugrundeliegenden Diffusivitätswerte α und/oder Wärmekapazitäten c_p oder allgemein c unterschiedlich sind. Gemäss der WO 01/18500 können auch, wie eingangs erwähnt, am ruhenden Gas bei konstanter Heizleistung die Wärmeleitfähigkeit λ und separat davon bei gepulster Heizleistung die Wärmekapazität c oder $c \cdot p$ gemessen werden. Hierfür wird mindestens zeitweise das Heizmittel mit einer konstanten Heizleistung oder in Form von Heizpulsen betrieben und eine strömungsunabhängige Wärmeleitfähigkeit λ oder Wärmekapazität c gemessen.

Fig. 4 zeigt eine Tabelle mit Wärmekoeffizienten λ , c_p , α und spezifischen Dichten ρ typischer Erdgasbestandteile Methan, Äthan, Propan, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenmonoxid (brennbar) und Kohlendioxid, Stickstoff, Wasser

und Helium (unbrennbar). In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird eine gemessene Wärmeleitfähigkeit λ auf Übereinstimmung mit einem Wärmeleitfähigkeitswert entsprechend einem Absolutwert von 0,026 W/mK für Stickstoff, Sauerstoff oder Luft, insbesondere 0,0260 W/mK für Stickstoff, 0,0263 W/mK für Sauerstoff oder 0,0261 W/mK für Luft, oder 0,0168 W/mK für Kohlendioxid getestet, wobei eine vorgebbare Toleranz von $\pm 10\%$, bevorzugt $\pm 5\%$ und besonders bevorzugt $\pm 2\%$ berücksichtigt wird. Bei Übereinstimmung wird das Gasgemisch 3 als nicht brennbar kategorisiert und eine Signalausgabe 8 des Gaszählers 1 mit einer in Massen- oder Normvolumeneinheiten, z. B. l/min, kalibrierten Skala 8b betrieben. Bei Nichtübereinstimmung wird das Gasgemisch 3 als brennbar kategorisiert und eine Signalausgabe 8 des Gaszählers 1 mit einer in Energieeinheiten, z. B. kWh, kalibrierten Skala 8a betrieben.

Alternativ oder ergänzend wird eine gemessene Wärmekapazität c oder c_p mit einem Schwellwert entsprechend einem Absolutwert von 1300 J/kgK verglichen, wobei eine vorgebbare Toleranz von $\pm 10\%$, bevorzugt $\pm 5\%$ und besonders bevorzugt $\pm 2\%$ berücksichtigt wird. Bei Unterschreiten des Schwellwerts wird das Gasgemisch 3 als nicht brennbar kategorisiert und eine Signalausgabe 8 des Gaszählers 1 mit einer in Massen- oder Normvolumeneinheiten kalibrierten Skala 8b betrieben. Bei Überschreiten des Schwellwerts wird das Gasgemisch 3 als brennbar kategorisiert und eine Signalausgabe 8 des Gaszählers 1 mit einer in Energieeinheiten kalibrierten Skala 8a betrieben.

Vorzugsweise wird periodisch geprüft, ob der Gaszähler 1 mit einem brennbaren Gas 3, insbesondere Erdgas, oder mit einem nicht brennbaren Gas 3, insbesondere Stickstoff oder Luft, in Kontakt steht. Mit Vorteil werden auch Messintervalle zur Bestimmung von Sensorsignalen S ; S_m , S_M , S_E bei Vorhandensein eines nicht brennbaren Gasgemisches 3 gross, insbesondere 1 Minute oder länger, und bei Vorhandensein eines brennbaren Gasgemisches 3 klein, insbesondere 10 Sekunden oder kürzer, gewählt.

Ein konsumierter Gasenergiebezug kann im Gaszähler 1 aufintegriert werden und bei einer Umschaltung der Kalibration auf Massen- oder Normvolumeneinheiten zwischengespeichert und bei Rückumschaltung auf Energieeinheiten als Startwert verwendet werden. Andererseits kann die Durchflussrate S_M bei einer Umschaltung der Kalibration auf Energieeinheiten weiter inkrementiert und insbesondere ausgegeben werden, oder die aufintegrierte Durchflussrate wird zwischengespeichert und insbesondere ausgegeben und bei Rückumschaltung auf Massen- oder Normvolumeneinheiten als Startwert verwendet oder als Startwert auf Null zurückgesetzt.

Mit Hilfe eines Indikators oder Displays 9 kann angezeigt werden, ob der Gaszähler 1 mit Luft oder Erdgas oder einer Mischung von Luft und Erdgas in Kontakt steht. Desweiteren können durch eine Default-Einstellung des Gaszählers 1 Massen- oder Normvolumeneinheiten angegeben werden und erst bei einem erstmaligen Kontakt mit Nutzgas, insbesondere Erdgas, Energieeinheiten angegeben werden. Auch kann durch eine Erstinitialisierung des Gaszählers 1, insbesondere bei Montage, die Kalibration automatisch von Massen- oder Normvolumeneinheiten oder Luft auf Energieeinheiten oder Erdgas umgeschaltet werden. Schliesslich kann bei Kontaktnahme mit Luft, Erdgas und wiederum Luft ein Manipulationsindikator 10 des Gaszählers 1 aktiviert werden.

Die Erfindung hat auch einen Gaszähler 1 zur Ausführung des oben beschriebenen Verfahrens zum Gegenstand. Vorzugsweise haben der thermische Durchflusssensor 1a und der Gasqualitätssensor 1a einen identischen Sensoraufbau und sind insbesondere identisch. Im Gaszähler 1 werden dann die Sensorsignalwerte S ; S_m , S_M , S_E und ein Wärmekoeffizient λ , c_p , α des Gasgemisches 3 im selben thermischen Sensor 1a gemessen, insbesondere in einem CMOS-Anemometer 1a mit einem Heizdraht 6 und mit mindestens einem stromaufwärts angeordneten Temperatursensor 5a und optional zusätzlich mit mindestens einem stromabwärts angeordneten Temperatursensor 5b. Der thermische Durchflusssensor 1a

ist als Gasqualitätssensor 1a betreibbar, wenn eine gemessene Massenflussrate einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet. Alternativ kann der Gasqualitätssensor 1a in einem Bereich mit konstanter Durchflussrate, insbesondere mit weitgehend ruhendem Gas 3, angeordnet sein.

Gemäss Fig. 1 umfasst der Gaszähler 1: einen Indikator oder ein Display 9 für Gasqualität, insbesondere für Vorhandenseins von Eichgas 3 oder Nutzgas 3, vorzugsweise von Luft, Erdgas oder Luft-Erdgasgemisch; einen Manipulationsindikator 10, der bei wechselnder Kontaktnahme mit einem nicht brennbaren Gas 3, insbesondere Eichgas 3, einem brennbaren Gas oder Nutzgas 3 und wiederum einem nicht brennbaren Gas 3, insbesondere einem Umgebungsgas 3, aktivierbar ist; eine Mess- und Auswerteeinheit 7 zur Bestimmung von Energieverbrauchswerten (S_E) und/oder Massendurchflusswerten S_M ; und vorzugsweise separate Datenspeicher 7b, 7c zur Speicherung von Energieverbrauchswerten S_E und von Massendurchflusswerten oder Normvolumenflusswerten S_M . Die Recheneinheit 7a umfasst auch einen Datenspeicher für bekannte Wärmekoeffizienten λ , c_p , α , Dichten ρ oder Viskositäten η bekannter Gase sowie Rechenmittel zum Vergleich von gemessenen mit gespeicherten oder aus Speicherwerten interpolierten Wärmekoeffizienten λ , c_p , α , Dichten ρ oder Viskositäten η sowie Rechenmittel zur Bestimmung des Gasgemisches 3 als brennbar bzw. verrechenbar oder unbrennbar bzw. nicht verrechenbar.

BEZUGSZEICHENLISTE

	1	Gaszähler
	1a	thermischer Massenflusssensor, CMOS-Sensor
	1b	Membran
5	2	Strömungskanal, Rohr
	3	Gas; Erdgas, Eichgas, Kalibrierigas
	4	Strömungsprofil
	5a, 5b	erster, zweiter Temperatursensor, Thermoelemente
	6	Heizelement, Heizdraht
10	7	Mess- und Auswerteeinheit
	7a	Recheneinheit
	7b	Datenspeicher für Energieverbrauchswerte
	7c	Datenspeicher für Durchflusswerte
	8	Signalausgabe, Display
15	8a	Skala in Massen-/Normvolumeneinheiten kalibriert
	8b	Skala in Energieeinheiten kalibriert
	9	Gasqualitätsindikator, Display
	10	Manipulationsindikator, Display
	CH	Erdgas, Basis-Gasgemisch
20	f_{N_2-CH}	Korrekturfaktor für Sensorsignal
	$F(S)$	Sensoreichkurve
	H_{CH}	Heizwert, Brennwert
	λ	Wärmeleitfähigkeit
	c, c_p	spezifische Wärmekapazität
25	ρ	Dichte
	α	Diffusivität
	η	Viskosität
	S	Sensorsignal
	S_m	Massenfluss(raten)signal für Eichgas oder Kali-
30		brierigas
	S_M	Massenfluss(raten)signal für Basis-Gasgemisch
	S_E	Energiewertsignal
	T_1, T_2	Temperaturen
	v, v_x	Flussgeschwindigkeit
35	dV/dt	Volumendurchflussrate

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Messen eines Gasverbrauchs mittels eines Gaszählers (1), insbesondere zum Messen eines ver-
rechenbaren Gasenergiebezugs im privaten, öffentlichen
oder industriellen Bereich, wobei vom Gaszähler (1)
mit Hilfe eines thermischen Durchflusssensors (1a) zu
einer Durchflussrate proportionale Sensorsignale (S)
bestimmt werden und die Sensorsignale (S) aufgrund ei-
ner Kalibration des Gaszählers (1) als Energiemess-
gerät als Energiewertsignale (S_E) ausgegeben werden,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - a) vom Gaszähler (1) eine Gasart insoweit bestimmt
wird, dass ein nicht brennbares Gasgemisch (3) von
einem brennbaren Gasgemisch (3) unterschieden wird
und
 - b) der Gaszähler (1) bei Vorhandensein eines nicht
brennbaren Gasgemisches (3) mit einer Kalibration
in Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) und
bei Vorhandensein eines brennbaren Gasgemisches (3)
mit einer Kalibration in Energieeinheiten (kWh) be-
trieben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass
 - a) mit Hilfe eines thermischen Gasqualitätssensors
(1a) mindestens ein gasartabhängiger Parameter
(λ , c, α , η) des Gasgemisches (3), insbesondere ein
Wärme-
koeffizient (λ , c, α) wie z. B. eine Wärme-
leitfähigkeit (λ) und/oder Wärmekapazität (c), be-
stimmt wird und
 - b) durch Vergleich mit bekannten Werten des Parameters
(λ , c, α , η) für bekannte Gase oder Gasgemische das
Gasgemisch (3) als brennbar oder nicht brennbar
identifiziert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 a) der thermische Durchflusssensor (1a) und der Gasqualitätsensor (1a) einen identischen Sensoraufbau haben, wobei das Gasgemisch (3) über einen ersten Temperatursensor (5a), ein Heizelement (6) und einen zweiten Temperatursensor (5b) geführt wird und
- 10 b) aus einer Differenz von Temperatursignalen der Temperatursensoren (5a, 5b) ein Massenflusssignal (S_M) und aus einer Summe der Temperatursignale (T_1+T_2) oder aus dem Temperatursignal des ersten Temperatursensors (5a) alleine ein gasartabhängiger Wärme-
koeffizient (λ, c, α) bestimmt wird.

15 4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- 20 a) eine gemessene Wärmeleitfähigkeit (λ) auf Übereinstimmung mit einem Wärmeleitfähigkeitswert entsprechend einem Absolutwert von 0,026 W/mK für Stickstoff, Sauerstoff oder Luft, insbesondere 0,0260 W/mK für Stickstoff, 0,0263 W/mK für Sauerstoff oder 0,0261 W/mK für Luft, oder 0,0168 W/mK für Kohlendioxid getestet wird, wobei eine vorgebbare Toleranz von $\pm 10\%$, bevorzugt $\pm 5\%$ und besonders bevorzugt $\pm 2\%$ berücksichtigt wird,
- 25 b) bei Übereinstimmung das Gasgemisch (3) als nicht brennbar kategorisiert wird und eine Signalausgabe (8) des Gaszählers (1) mit einer in Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) kalibrierten Skala (8b) betrieben wird und
- 30 c) bei Nichtübereinstimmung das Gasgemisch (3) als brennbar kategorisiert wird und eine Signalausgabe (8) des Gaszählers (1) mit einer in Energieeinheiten (kWh) kalibrierten Skala (8a) betrieben wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

5 a) eine gemessene Wärmekapazität (c) mit einem Schwellwert entsprechend einem Absolutwert von 1300 J/kgK verglichen wird, wobei eine vorgebbare Toleranz von $\pm 10\%$, bevorzugt $\pm 5\%$ und besonders bevorzugt $\pm 2\%$ berücksichtigt wird,

10 b) bei Unterschreiten des Schwellwerts das Gasgemisch (3) als nicht brennbar kategorisiert wird und eine Signalausgabe (8) des Gaszählers (1) mit einer in Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) kalibrierten Skala (8b) betrieben wird und

15 c) bei Überschreiten des Schwellwerts das Gasgemisch (3) als brennbar kategorisiert wird und eine Signalausgabe (8) des Gaszählers (1) mit einer in Energieeinheiten (kWh) kalibrierten Skala (8a) betrieben wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

20 a) periodisch geprüft wird, ob der Gaszähler (1) mit einem brennbaren Gas (3), insbesondere Erdgas, oder mit einem nicht brennbaren Gas (3), insbesondere Stickstoff oder Luft, in Kontakt steht und/oder

25 b) Messintervalle zur Bestimmung von Sensorsignalen (S) bei Vorhandensein eines nicht brennbaren Gasgemisches (3) gross, insbesondere 1 Minute oder länger, und bei Vorhandensein eines brennbaren Gasgemisches (3) klein, insbesondere 10 Sekunden oder kürzer, gewählt werden.

30 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein konsumierter Gasenergiebezug im Gaszähler (1) aufintegriert wird und bei einer Umschaltung der Kalibration auf Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) zwischengespeichert und
35 bei Rückumschaltung auf Energieeinheiten (kWh) als Startwert verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchflussrate (S_M) in Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) im Gaszähler (1) aufintegriert wird und

- a) die Durchflussrate (S_M) bei einer Umschaltung der Kalibration auf Energieeinheiten (kWh) weiter inkrementiert und insbesondere ausgegeben wird oder
- b) die aufintegrierte Durchflussrate zwischengespeichert und insbesondere ausgegeben wird und bei Rückumschaltung auf Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) als Startwert verwendet wird oder als Startwert auf Null zurückgesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) mit Hilfe eines Indikators oder Displays (9) angezeigt wird, ob der Gaszähler (1) mit Luft oder Erdgas oder einer Mischung von Luft und Erdgas in Kontakt steht und/oder
- b) durch eine Default-Einstellung des Gaszählers (1) Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) angegeben werden und erst bei einem erstmaligen Kontakt mit Nutzgas, insbesondere Erdgas, Energieeinheiten (kWh) angegeben werden und/oder
- c) durch eine Erstinitialisierung des Gaszählers (1), insbesondere bei Montage, die Kalibration automatisch von Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) oder Luft auf Energieeinheiten (kWh) oder Erdgas umgeschaltet wird und/oder
- d) bei Kontaktnahme mit Luft, Erdgas und wiederum Luft ein Manipulationsindikator (10) des Gaszählers (1) aktiviert wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Kalibration des Gaszählers (1) als Energiemessgerät Sensorsignale (S) in Abhängigkeit der Durchflussrate eines Eichgases (3) bestimmt und in Form einer Sensoreichkurve ($F(S)$) im Gas-

zähler (1) gespeichert werden, wobei die Sensoreichkurve ($F(S)$) mit einem Signal-Umrechnungsfaktor (f_{N_2-CH}) und mit einem Heizwertfaktor (H_{CH}) für ein Basis-Gasgemisch (CH) korrigiert wird und das erhaltene Produkt einen Gasverbrauch in der Energieeinheit (kWh) oder einer Leistungseinheit angibt.

11. Gaszähler (1) zum Messen eines Gasverbrauchs gemäß einem der vorangehenden Ansprüche.

12. Gaszähler (1) zum Messen eines Gasverbrauchs, insbesondere eines verrechenbaren Gasenergiebezugs im privaten, öffentlichen oder industriellen Bereich, wobei der Gaszähler (1) einen thermischen Durchflusssensor (1a) aufweist und als Energiemessgerät in Energieeinheiten (kWh) kalibriert ist, dadurch gekennzeichnet, dass

a) der Gaszähler (1) zusätzlich als Massenflussmeter in Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) kalibriert ist,

b) der Gaszähler (1) einen Gasqualitätssensor (1a) aufweist, der ein Diskriminationssignal, insbesondere einen gasartabhängigen Parameter (λ , c , α , η), zur Unterscheidung eines brennbaren Gasgemisches (3) von einem nicht brennbaren Gasgemisch (3) erzeugt, und

c) der Gaszähler (1) aufgrund des Diskriminationssignals zwischen einem Betrieb als Energiemessgerät oder als Massenflussmeter umschaltbar ist.

13. Gaszähler (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass

a) der thermische Durchflusssensor (1a) und der Gasqualitätssensor (1a) einen identischen Aufbau haben und/oder

b) der thermische Durchflusssensor (1a) und/oder der Gasqualitätssensor (1a) CMOS-Anemometer (1a) mit einem Heizdraht (6) und stromaufwärts und strom-

abwärts angeordneten Temperatursensoren (5a, 5b) sind.

14. Gaszähler (1) nach einem der Ansprüche 12-13, dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 a) der thermische Durchflusssensor (1a) als Gasqualitätssensor (1a) betreibbar ist, wenn eine gemessene Massenflussrate einen vorgebbaren Schwellwert unterschreitet oder
- 10 b) der Gasqualitätssensor (1a) in einem Bereich mit konstanter Durchflussrate, insbesondere mit weitgehend ruhendem Gas (3), angeordnet ist.

15. Gaszähler (1) nach einem der Ansprüche 12-14, dadurch gekennzeichnet, dass

- 15 a) der Gaszähler (1) einen Indikator oder ein Display (9) für Gasqualität, insbesondere für Vorhandenseins von Eichgas (3) oder Nutzgas (3), vorzugsweise von Luft, Erdgas oder Luft-Erdgasgemisch, aufweist und/oder
- 20 b) der Gaszähler (1) einen Manipulationsindikator (10) aufweist, der bei wechselnder Kontaktnahme mit einem nicht brennbaren Gas (3), insbesondere Eichgas (3), einem brennbaren Gas oder Nutzgas (3) und wiederum einem nicht brennbaren Gas (3), insbesondere einem Umgebungsgas (3), aktivierbar ist und/oder
- 25 c) der Gaszähler (1) eine Mess- und Auswerteeinheit (7) zur Bestimmung von Energieverbrauchswerten (S_E) und/oder Massendurchflusswerten (S_M) aufweist und/oder
- 30 d) der Gaszähler (1) separate Datenspeicher (7b, 7c) zur Speicherung von Energieverbrauchswerten (S_E) und von Massendurchflusswerten oder Normvolumenflusswerten (S_M) aufweist.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen eines Gasverbrauchs mittels eines Gaszählers (1). Ein Gaszähler (1) mit thermischem Durchflusssensor (1a) zur Bestimmung von Massenflusssignalen (S_M) und mit einer Kalibration als Energiemessgerät zur Ausgabe von Energiewertsignalen (S_E) ist bekannt. Erfindungsgemäss wird vom Gaszähler (1) eine Gasart insoweit bestimmt, dass brennbare und unbrennbare Gasgemische (3) unterschieden werden. Der Gaszähler (1) wird bei unbrennbarem Gasgemisch (3) mit Kalibration in Massen- oder Normvolumeneinheiten (l/min) und bei brennbarem Gasgemisch (3) mit Kalibration in Energieeinheiten (kWh) betrieben. Ausführungsbeispiele betreffen u.a.: Messung eines Gasparameters (λ , α , c , η) des Gases (3) zur Gasartbestimmung; Gasqualitätssensor (1a) mit identischem Aufbau wie thermischer Durchflusssensor (1a); Messintervalle verlängert bei unbrennbarem Gas (3) und verkürzt bei brennbarem Gas (3). Vorteile sind u.a.: zuverlässige Energiemessung wegen automatischer Unterscheidung zwischen nicht verrechenbarem Gas (3) und hochwertigem Nutzgas (3); Erkennung von Manipulationsversuchen; und automatische Heizwertnachführung auch ohne Heizwertmessung.

(Fig. 1)

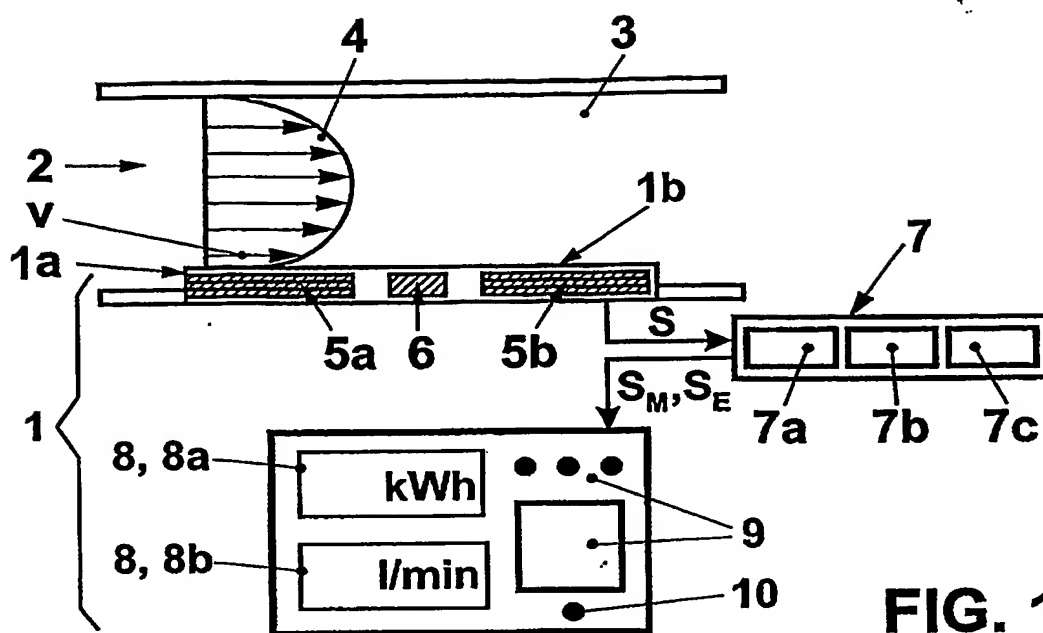


FIG. 1

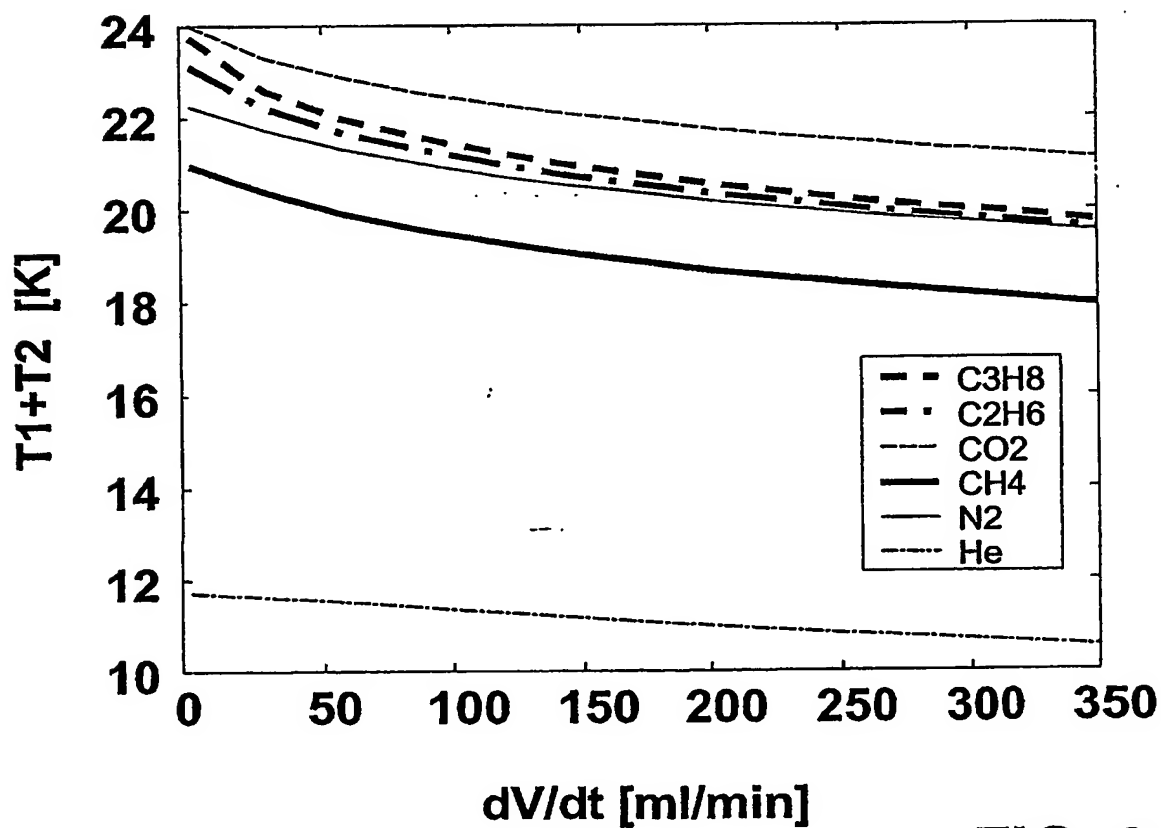


FIG. 2

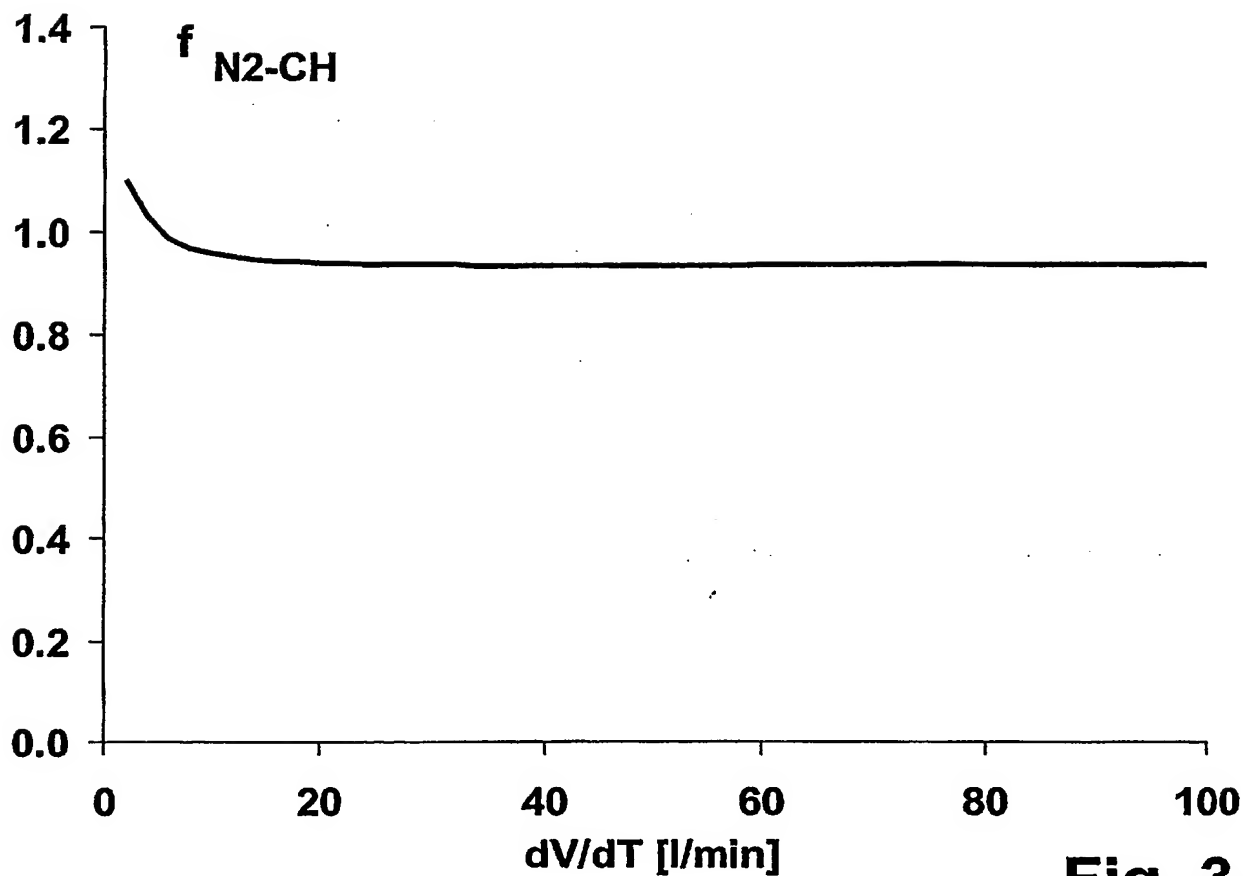


Fig. 3

Temperature: 300K; Pressure: 1.013 bar				
Gas	λ	c_p	ρ	α
	W/(mK)	J/(kgK)	kg/m ³	m ² /s
Methane	0.0341	2200.34	0.653	2.37E-05
Ethane	0.0213	1749.25	1.231	9.90E-06
Propane	0.0180	1626.57	1.967	5.63E-06
Carbon dioxide	0.0168	842.99	1.797	1.11E-05
Nitrogen	0.0260	1038.77	1.138	2.20E-05
Oxygen	0.0263	918.78	1.301	2.20E-05
Hydrogen	0.1869	14285.71	0.082	1.60E-04
Water	0.0187	1865.11	0.767	1.31E-05
Carbon monoxide	0.0250	1038.91	1.138	2.11E-05
Helium	0.1567	5196.10	0.163	1.86E-04

Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.